

EL MÉTODO CIENTÍFICO EN LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL FORENSE

Alberto Benítez Reynoso
Ingeniero Civil, M.Sc., M.E., Ph.D.
Ciudad de Tarija (Bolivia)

- Ingeniero Civil, Máster en Ciencias, Magíster en Ingeniería, Doctor (Ph.D.) por la Universidad de Sevilla.
- Más de 27 años de experiencia como docente universitario (grado y posgrado) y consultor de estudios y proyectos.
- Decano de la Facultad de Ciencias y Tecnología (1992-1994) y Vicerrector (1994-1997) de la Universidad Autónoma J.M. Saracho de Tarija (Bolivia).
- Miembro Titular de la Academia Panamericana de Ingeniería y de varias organizaciones profesionales, científicas y académicas.

RESÚMEN

La ingeniería estructural forense está jugando un rol fundamental en los últimos años. Las fallas y colapsos de varias estructuras son, en parte, responsables de este papel.

El problema se formula mediante la siguiente pregunta: ¿Cómo se aplica el método científico en las soluciones de los problemas de la ingeniería estructural forense?.

El **objetivo** es: precisar y particularizar el uso del método científico en los problemas de investigación que plantea la ingeniería estructural forense, con particular referencia a dos casos de estudio.

La **estrategia metodológica**, fundamentalmente empírica y racional, conduce a la obtención de los siguientes **resultados**:

- Caracterización del método científico con referencia particular a la ingeniería estructural forense.
- Presentación de casos de estudio en los cuales se aplica el método científico y los métodos propios de la ingeniería estructural forense.

Como **conclusión** fundamental se tiene que: la ingeniería estructural forense, además de sus métodos propios, usa el método general de la ciencia.

ABSTRACT

The forensic structural engineering is playing an important role in the last years. The failures and collapses of several structures are, in part, responsible of this role.

*The **problem** is formulated as the question: How to apply the scientific method to the solutions of forensic structural engineering problems?.*

*The **objective** is: to specify the use of scientific method to the investigation problems of forensic structural engineering, with particular reference to two case studies.*

*The **methodology** is mainly empirical and rational, which take to the following results:*

- *Specifying the scientific method with particular reference to the forensic structural engineering.*
- *Presentation of two case studies on which the scientific method and the forensic structural engineering methods are applied.*

*As main **conclusion** we have that: The forensic structural engineering, moreover its own methods, uses the scientific method.*

INTRODUCCIÓN

Es absolutamente evidente que, en los últimos años, las fallas y colapsos de las diferentes estructuras de ingeniería, se han hecho más frecuentes. Estos fenómenos deben su ocurrencia a una causa o la combinación de más de una de ellas, entre las cuales podemos citar:

- Cargas y riesgos a los que está sometido el sistema estructural, tales como los fenómenos naturales (vientos, sismos, crecidas de las corrientes de agua, lluvias, etc.) y otros.
- Errores humanos, tales como los de cálculo, diseño, construcción y supervisión de las obras.
- Defectos relativos a los materiales, deterioro y durabilidad de las estructuras.
- Diferentes tipos de patologías propias del sistema estructural y de los materiales en cuestión.

En fin, pueden haber otras causas responsables de las fallas y, en última instancia, el colapso de una estructura o un sistema estructural.

En Bolivia, hay dos eventos que han marcado un hito en el ámbito de la ingeniería estructural, se trata concretamente del colapso de dos sistemas estructurales, a saber:

- El colapso estructural prematuro del llamado "túnel falso", en la carretera Tarija - Bermejo, del departamento de Tarija (ruta No. 1 de la red fundamental nacional), ocurrido al comenzar la segunda semana del mes de enero de 2007.
- El colapso estructural del "edificio Málaga" en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, consecuencia del cual se han perdido 15 vidas humanas, hecho ocurrido el 24 de enero de 2011.

En ese contexto, la ingeniería estructural forense adquiere más importancia para los ingenieros que ejercen la profesión, los investigadores, académicos y el sistema judicial competente.

Por estas razones, en el ámbito de la ciencia, se plantea el problema mediante la pregunta: ¿Cómo se aplica el método científico en las soluciones de los problemas de la ingeniería estructural forense?.

En consecuencia, el objetivo de este trabajo es: precisar y particularizar el uso del método científico en los problemas de investigación que plantea la ingeniería estructural forense, con particular referencia a dos casos de estudio.

LOS ESTADOS LÍMITES DE UNA ESTRUCTURA

Toda estructura debe reunir condiciones idóneas de seguridad, funcionalidad y durabilidad, además de la comodidad, con la finalidad de que cumpla el objetivo para el cual ha sido proyectada.

Se denominan estados límites aquellas situaciones que la estructura no debe rebasar. Los estados límites se clasifican en ^[1]:

- a) Estados límites últimos, que son los que corresponden a la máxima capacidad resistente de la estructura.
- b) Estados límites de servicio, que corresponden a la máxima capacidad de servicio de la estructura.
- c) Estado límite de durabilidad, que corresponde a la duración o vida útil de la estructura.

Los estados límites tienen que ver con la seguridad de la estructura y son independientes de la función de la misma. Tienen relación con el equilibrio, el

agotamiento, el pandeo o inestabilidad, la fatiga, el anclaje (en el caso de las estructuras de hormigón armado) y otros.

En tanto que, los estados límites de servicio tienen relación con la funcionalidad, la estética y la durabilidad, dependen de la función a cumplir. Los fenómenos más importantes son las deformaciones, las fisuras y las vibraciones.

El estado límite de durabilidad se relaciona con la necesidad de garantizar una vida útil o duración mínima de la integridad de la estructura.

De los tres conceptos mencionados anteriormente, evidentemente, son los estados últimos los que determinan el colapso de una estructura.

Si bien, los conceptos expresados en los párrafos precedentes tienen una relación directa con el objeto de estudio de la ingeniería estructural forense, nuestro análisis no hará referencia a los criterios de cálculo y diseño, seguridad y confiabilidad de las estructuras, riesgos asociados, etc., sólo nos limitaremos a establecer y precisar en qué medida la ingeniería estructural forense usa el método científico para resolver sus propios problemas.

¿QUÉ ES LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL FORENSE?

En nuestro ámbito, el término forense es aceptado y usado para varias disciplinas científicas como la medicina forense, la psicología forense, la biología forense, la química forense, etc. También es usual el término genérico "ciencias forenses". Sin embargo, la ingeniería forense, si bien no es un imposible, su uso y aplicación son relativamente nuevos.

Según Noon ^[2] (2001), la ingeniería forense es la aplicación de los principios y métodos de la ingeniería para responder cuestiones de hecho o de la realidad observable. Estas cuestiones de hecho son asociadas usualmente con colapsos de estructuras, accidentes, eventos catastróficos y varios tipos de fallas.

Al principio, solo el resultado final es conocido, por ejemplo, el colapso de una estructura u otro evento. Luego, a partir de este inicio, el ingeniero estructural forense busca y colecta información y evidencias sobre "cómo y por qué" ocurrió el evento, es decir, el ingeniero forense tiene la tarea complicada de determinar con precisión técnica y científica "*quién o quiénes, dónde, cuándo, por qué y cómo*", de manera que, en caso de una disputa legal, la decisión judicial sea correspondiente y proporcional con la verdad histórica de los hechos.

En suma, el ingeniero forense:

- Evalúa qué fue, qué pasó y cuáles eran condiciones prevalecientes antes de la ocurrencia del evento.
- Evalúa qué está presente y en qué condiciones lo está después de la ocurrencia del evento.
- Formula hipótesis razonables y plausibles sobre cómo las condiciones previas al evento han conducido a las condiciones después de la ocurrencia del mismo.
- Investiga e indaga sobre las evidencias o pruebas que rechazan o fundamentan (prueban) las hipótesis formuladas.
- Aplica conocimientos y habilidades ingenieriles técnicas y científicas para describir los varios hechos y evidencias dentro de un escenario cohesivo de cómo el evento puede haber ocurrido.

En las tareas listadas en los párrafos que preceden, queda implícito que lo que hace el ingeniero forense es aplicar la lógica, la cual proporciona orden y coherencia a todos los factores, principios, técnicas y metodologías que afectan a un caso en particular.

Por las razones citadas, como se verá, esta lógica del ingeniero es prácticamente idéntica a la lógica de la investigación científica.

CONDICIONES E IDONEIDAD DEL INGENIERO FORENSE

Considerando las principales actividades y funciones del ingeniero forense, este debe reunir ciertas condiciones que lo hacen idóneo para realizar apropiadamente su trabajo.

En el caso de las estructuras de ingeniería, en primer lugar debe ser un ingeniero civil con la formación y experiencia debidas en el área de las estructuras o, un ingeniero estructural.

En consecuencia, las habilidades técnicas y conocimientos de un ingeniero forense varían de acuerdo a la especialidad o disciplina. Sin embargo, se requieren algunas características generales y profesionales como requisitos para una práctica exitosa y útil a la sociedad.

Entre algunas de estas características se tiene:

a) Competencia técnica y científica

Esta competencia es el resultado directo de la formación académica y experiencia del ingeniero. Adicionalmente, es deseable una licencia o autorización de las organizaciones ingenieriles de tipo gremial o del sistema judicial que usualmente dispone de un banco de información sobre los ingenieros idóneos para las actividades forenses. Los ingenieros forenses con extensos antecedentes profesionales y muchos años en práctica de la ingeniería tienen más probabilidades de hacer un trabajo efectivo al presentar sus testimonios en las cortes y audiencias judiciales. Los ingenieros con menos experiencia pueden trabajar como parte del equipo de apoyo en la investigación.

La competencia científica del ingeniero forense debe estar respaldada por un manejo riguroso de la metodología de la investigación o método científico general, considerando las particularidades de los objetos de estudio de la ingeniería forense, que son, evidentemente, diferentes a los de otras disciplinas y ciencias.

b) Habilidades de detective

El ingeniero forense es un investigador y, por lo tanto, es deseable que posea algunas habilidades de un detective. Las diligencias deben ser realizadas recogiendo la información de los hechos y documentos pertinentes. La cantidad, calidad y confiabilidad de los datos disponibles varía ampliamente en cada caso y con cada disciplina o especialidad. Muchas investigaciones tienen que ver con la interpretación de los datos colectados. Durante el análisis o etapa racional, el investigador debe separar los factores contribuyentes o relevantes de aquellos menos importantes o irrelevantes.

La protección de las evidencias también es importante y debe ser realizada a cualquier costo. Un daño a las evidencias, aún siendo mínimo, puede afectar a los resultados de la investigación y a las decisiones judiciales relacionadas.

Un buen ingeniero de diseño no es necesariamente un buen ingeniero forense. El primero está más familiarizado con procedimientos y métodos de diseño, normas y códigos, en la perspectiva de prevenir fallas y colapsos, en tanto que, el segundo enfoca la investigación desde la perspectiva de una cusa física y un objeto dado,

como fue diseñado y construido. Estas dos perspectivas son diferentes y requieren habilidades y actitudes también distintas. En todo caso, una fluida comunicación entre ambos es, muchas veces, deseable.

c) Habilidades de comunicación oral y escrita

Tanto la comunicación oral como la escrita son importantes para un ingeniero forense.

Durante la investigación, los medios de comunicación pueden solicitar entrevistas de todo tipo con el ingeniero forense.

Asimismo, la comunicación oral y escrita son importantes tanto para la presentación de los testimonios en los diferentes actos judiciales como en la redacción del informe pericial, cuya calidad es un reflejo y medida de la idoneidad del investigador.

Es fundamental explicar los fenómenos de la manera más simple y clara, usando ejemplos, analogías y otros elementos apropiados.

El informe pericial puede ser determinante en la toma de decisiones y la emisión de fallos en los estrados judiciales.

EL SISTEMA LEGAL Y EL INGENIERO FORENSE

Juntamente con las características mencionadas en los párrafos que preceden, el ingeniero forense debe conocer los procedimientos legales y el vocabulario relacionado, ya que el vocabulario usado en el mundo litigante es muy específico y diferente al usado por un ingeniero general. El ingeniero que no conozca y use apropiadamente este vocabulario puede cometer graves e irreparables errores que pueden afectar a más de una de las partes involucradas.

Con relativa frecuencia el ingeniero forense es llamado para testificar en una Corte Judicial sobre sus hallazgos. Normalmente, el testimonio consiste en respuestas a preguntas de un Fiscal u otra autoridad competente. El Fiscal, a menudo, está interesado en lo siguiente:

- La cualificación del ingeniero para hacer el trabajo, su formación, idoneidad y experiencia.
- Los hechos básicos e hipótesis consideradas por el ingeniero.
- La racionalidad sobre las conclusiones del ingeniero.
- Las explicaciones alternativas y plausibles sobre el evento, no consideradas por el ingeniero, las cuales serán la versión de su cliente sobre el evento.

En Bolivia, la Ley llama a este profesional con el nombre genérico de *perito*, independiente de la rama científica particular de la que se trate, es decir, para el sistema judicial, el ingeniero forense es, también un perito y sus estudios e investigaciones, especialmente sus hallazgos y conclusiones se plasman en un documento llamado *informe pericial*.

EL MÉTODO CIENTÍFICO Y LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL FORENSE

La investigación de un evento como un accidente, un colapso estructural, un evento catastrófico, es organizada como una pirámide ^[2] (figura 1).

En la base se tienen los hechos y evidencias físicas verificables, los cuales constituyen la base para el análisis de acuerdo a principios científicos. Los hechos y el análisis, de manera conjunta, son el sustento o respaldo de un número pequeño de conclusiones, que forman la cúspide de la pirámide.

Las conclusiones deben ser basadas directamente en los hechos, las evidencias físicas y el análisis racional. Si los hechos y evidencias son organizadas lógicamente y sistemáticamente, las conclusiones serán evidentes y correctas.

Por otra parte, el método científico, que no se detallará en esta oportunidad, en una de sus versiones clásicas, responde a las siguientes etapas ^[3].

1. La observación; esta es la primera etapa del método científico. Sin la observación no es posible el avance de la ciencia. Las evidencias, datos e información recogidos mediante la observación, organizados sistemáticamente, son la base de formulaciones posteriores. Se entiende por observación científica la percepción refinada de uno o más hechos, con la intención de integrar un fenómeno determinado.

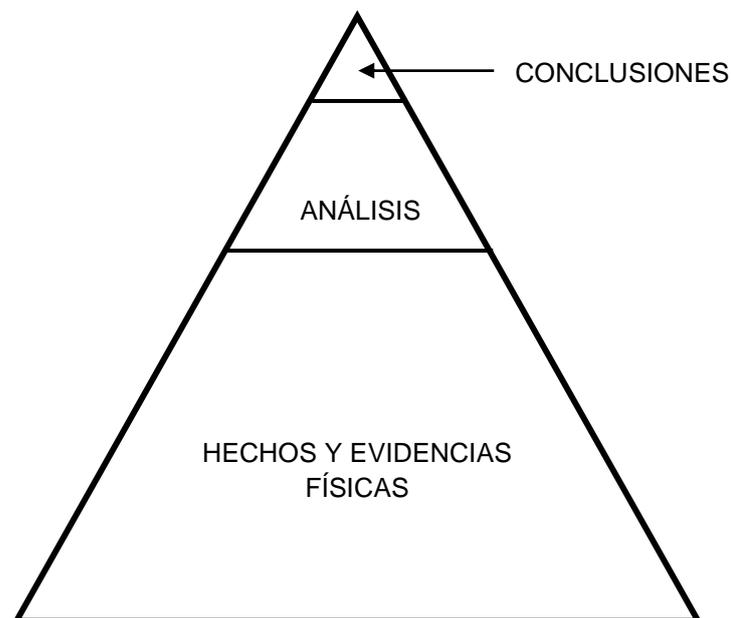


Figura 1: Pirámide de investigación

2. La formulación de un problema. Cuando se observa con atención la realidad, suele formularse interrogantes con relación a la misma. Ocurre que, mientras más datos se recolectan mediante la observación, se experimenta una mayor necesidad de relacionarlos, explicarlos o descubrir sus implicaciones. Entonces, se plantean preguntas que representan la síntesis de la formulación del problema.
3. La formulación de una hipótesis. esta es, quizá, la etapa más importante del método científico. La hipótesis suele definirse como una respuesta o explicación anticipada del fenómeno observado y estudiado, representa una guía, un derrotero en el proceso de la investigación. Cuando la hipótesis se fundamenta o comprueba por métodos racionales o empíricos, se convierte en una tesis científica.
4. La comprobación o fundamentación de la hipótesis (ya sea en forma empírica o racional). Fundamentar una hipótesis consiste en aportar evidencias sobre su veracidad. Dependiendo del tipo de fenómeno o realidad investigada, hay, al

menos, tres criterios o procedimientos para fundamentar la hipótesis: la observación, la experimentación y el raciocinio o demostración formal.

5. La formulación de leyes y teorías relacionadas. Cuando una hipótesis ha sido comprobada mediante uno o más de los procedimientos mencionados en el párrafo que antecede, se obtiene una tesis o ley científica.

Ahora, veamos la relación existente entre los elementos de la pirámide, planteada anteriormente, y las etapas clásicas del método científico.

Imagínese un evento determinado, por ejemplo, el colapso de una estructura. La investigación sobre sus posibles causas puede ser realizada y planificada, desde el punto de vista metodológico, en dos fases, una empírica y otra racional.

La fase empírica consistirá en la observación (primera etapa del método científico) de los hechos y evidencias físicas, si nos referimos a la base de la pirámide. Para poder establecer las posibles causas (hipótesis), el investigador o ingeniero forense debe hacer, en la fase de la observación, como mínimo, lo siguiente:

- a) Determinar la manera o modo y la secuencia del colapso o de la falla.
- b) Establecer que, para el inicio de la falla o colapso y para cada paso sucesivo en la secuencia del colapso, las demandas, en términos de cargas y factores ambientales, han excedido la capacidad última o estados límites últimos de la estructura.

La fase racional estará constituida por el planteamiento del problema (segunda etapa del método científico), que habitualmente se hace mediante una o más preguntas científicas sobre las causas del evento y la formulación de la hipótesis (tercera etapa del método científico), que consiste en respuestas anticipadas a las preguntas científicas. Estas dos etapas del método científico juegan el mismo rol que el análisis, citado como elemento de la pirámide de investigación.

Aunque no siempre, las estructuras y obras de ingeniería civil fallan debido a una o más de las siguientes razones:

- Diseños no apropiados.
- Sistemas y procedimientos constructivos deficientes o inadecuados.
- Materiales inadecuados o de baja calidad.
- Mantenimiento y operación impropios.
- Fallas de los códigos de construcción o prácticas ingenieriles aceptadas para reconocer una cierta demanda o capacidad límite.
- Imposición de demandas o cargas extremas y anormales, para las cuales la estructura no va a resistir.

Esta lista puede ayudar a formular hipótesis de falla o colapso de estructuras de ingeniería, aunque, las dos últimas causas son las menos frecuentes.

La comprobación o fundamentación de la hipótesis puede ser parte de la fase empírica o de la fase racional, dependiendo de la método que se use para hacerlo, en todo caso, cuando nos referimos a la pirámide, esta comprobación tiene sustento en la base de la misma y es planteada en el análisis y/o las conclusiones.

Por último, cuando nos referimos a la quinta etapa del método científico (formulación de leyes y teorías relacionadas), las conclusiones de la cúspide de la pirámide juegan ese papel, ya que, se trata de establecer las conclusiones sobre las causas del evento o hecho y no precisamente sobre la obtención de nuevos conocimientos científicos, leyes y teorías, lo cual es más propio de la investigación pura. Sin embargo, las conclusiones, representan la culminación del proceso de investigación.

En consecuencia, se puede afirmar que, hay una analogía estrecha entre la pirámide de investigación propuesta para la ingeniería forense y el método general de la ciencia o método científico, es decir, la ingeniería forense, usa, entre otros

elementos, el método científico para resolver sus problemas, lo cual será ilustrado con los siguientes casos de estudio.

CASO DE ESTUDIO 1: COLAPSO ESTRUCTURAL DEL TÚNEL FALSO EN LA CARRETERA TARIJA - BERMEJO

Al comenzar la segunda semana del mes de enero de 2007, la población tarijeña se ha visto ingratamente sorprendida con la noticia del colapso de una gran parte del llamado “túnel falso”, estructura de hormigón armado construida en la carretera Tarija – Bermejo, concretamente en el tramo Padcaya – Bermejo, en el sector denominado “Alarachi”. El autor ^[4] ha realizado un trabajo de investigación, mediante el cual se ha determinado la causa fundamental ha conducido a que la estructura rebase sus estados límites últimos y llegue al colapso estructural prematuro.

Si estructuramos el trabajo de investigación realizado, considerando las etapas del método científico, se tiene:

1. Observación. Esta etapa ha consistido en la recolección de información empírica como una inspección minuciosa (in-situ) antes y después de ocurrido el evento, ejecución de mediciones, toma de fotografías, filmaciones, entrevistas con personas que han presenciado el hecho, etc. Pero, también la observación ha tenido su parte racional porque hubo que recurrir a los documentos más importantes del diseño y construcción del sistema estructural tales como cálculos, planos, informes de construcción y supervisión, etc.
2. Formulación del problema. Concretamente, una vez ocurrido el colapso, relatado y planteado el problema, el mismo se ha sintetizado en una pregunta, a saber: ¿Cuáles son las causas que han provocado el colapso estructural prematuro del túnel falso ubicado en la carretera Tarija – Bermejo?.
3. Formulación de la hipótesis. Una vez recolectadas, organizadas, sistematizadas y estudiadas las evidencias, tanto empíricas como documentales, se ha formulado la hipótesis que se sintetiza como: la causa fundamental del colapso estructural prematuro del “túnel falso” está directamente asociada a concepciones no apropiadas usadas en la determinación de las cargas de diseño.
4. Comprobación o fundamentación de la hipótesis; que se hizo con base en las evidencias empíricas y el análisis racional. En concreto, se llegó a establecer que la estructura fue diseñada para cargas estáticas, cuando, en la realidad, la carga fundamental sobre la estructura consiste en masas de suelo y roca que caen desde alturas superiores a 400 m, carga que, además de ser dinámica, se repite con frecuencia, es decir, se concluyó que, la estructura entró en resonancia y, cuando esto ocurre, se originan deformaciones tan grandes que conducen al colapso de la estructura.
5. Como conclusión fundamental, se ha ratificado lo establecido en la hipótesis, es decir, lo afirmado la etapa 3. Asimismo se han descartado otras hipótesis, consideradas como muy simplistas y poco analíticas, por ejemplo, una de ellas establecía como causa del colapso la falta de mantenimiento de la estructura.

CASO DE ESTUDIO 2: COLAPSO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO MÁLAGA EN LA CIUDAD DE SANTA CRUZ DE LA SIERRA

Tal y como se ha referido anteriormente, el edificio Málaga, de diez pisos, de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra colapsa el 24 de enero de 2011, a las 21,00 horas. Entre los elementos más importantes de este evento, citamos ^[5]:

- Tanto el ingeniero contratado por la empresa Cicruz, propietaria de la estructura, como el Instituto de Investigaciones Forenses (IDIF), han realizado las investigaciones pertinentes que establecen las causas del colapso.
- Se trata de dos estudios que reflejan errores de diseño por parte del autor original del mismo.
- El ingeniero contratado por Cicruz evidenció que desde el quinto piso hasta el nivel del sótano, las columnas no tenían la sección ni la armadura necesarias para soportar el peso de la propia estructura, menos aún las sobrecargas de diseño o de ocupación y la influencia de factores externos como vientos o sismos.
- Por parte del IDIF, la conclusión fue que había columnas que soportaban hasta tres veces el peso máximo aconsejado y que el edificio debió caerse antes.
- En el proyecto estructural se habría subestimado las cargas de diseño de las losas. Este déficit se ha traducido en una carga menor en las columnas, que se ha ido acumulando desde las columnas de los pisos superiores hasta el nivel de las fundaciones.
- En fin, de la verificación estructural se concluye que todas las columnas hasta el nivel del primer piso fallan por compresión, es decir, su resistencia a la compresión fue superada por las cargas actuantes. Solo una columna tenía un diseño apropiado.
- Adicionalmente, se mencionan errores de diseño en otros elementos estructurales como las fundaciones.

En suma, tal como ha ocurrido con el caso del túnel falso, el edificio Málaga ha colapsado por errores humanos asociados al diseño del sistema estructural

El autor ha realizado las investigaciones y ha generado un informe con relación al colapso del túnel falso (caso de estudio 1), pero, en el caso del edificio Málaga simplemente hemos analizado los informes técnicos y científicos realizados por las instancias ya mencionadas, además de las noticias de la prensa oral y escrita. Sin embargo, ello no nos impide afirmar categóricamente que el proceso de investigación de este caso puede organizarse y sistematizarse de acuerdo con la lógica de la investigación científica o método científico. Las etapas o fases son similares a las del caso de estudio 1.

CONCLUSIONES

Como consecuencia del análisis de los métodos propios de la ingeniería forense, concretamente la pirámide de investigación, la lógica de la investigación científica o método científico y los dos casos de estudio citados con cierto grado de detalle, además de otros eventos ocurridos en diferentes partes del mundo, se formulan las siguientes conclusiones:

- La ingeniería estructural forense, con las particularidades inherentes a sus funciones y objeto de estudio propio, sigue la lógica de la investigación científica o método científico para la solución de sus problemas específicos. Con esto, se fundamenta la hipótesis planteada y se alcanza el objetivo formulado.

- Además del método científico, la ingeniería forense se fortalece con otros elementos inherentes a la formación, experiencia y habilidades especiales del ingeniero forense, que no la distancia, en absoluto de la lógica de la investigación científica.
- Queda demostrado, también, que la ingeniería forense, desde el punto de vista científico, usa los dos métodos que aplican los ingenieros en general, el método empírico y el método racional, los cuales pueden combinarse en más de una de las etapas del método científico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. García, A.; Morán F. y Arroyo, J.C. (2011). **Hormigón armado**. Editorial Gustavo Gili, SL, Barcelona.
2. Noon, R.K. (2001). **Forensic engineering investigation**. CRC Press, USA.
3. Gutierrez, R. (1996). **Introducción al método científico**. Editorial Esfinge, S.A. de CV, México.
4. Benítez, A. (2008). **Colapso estructural del túnel falso en la carretera Tarija - Bermejo. Análisis técnico científico de las causas**. 20° Jornadas Argentinas de de Ingeniería Estructural, Buenos Aires.
5. Periódico El Deber (2012). **Colapso - El edificio Málaga pudo caerse antes**. El Deber, pp. A9 - A11, Santa Cruz de la Sierra, 18 de marzo.